Tracts 1843. (1)

SUR

LA FORCE MUSCULAIRE DES INSECTES,

PAR

M. Félix PLATEAU,

Docteur en sciences naturelles.

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS

Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*,
2me série, tome XXII, n° 11, 1866.

Bruxelles, impr. de M. Hayez.

SUR

LA FORCE MUSCULAIRE DES INSECTES.

(DEUXIÈME NOTE.)

§ 1. Dans mon premier travail *Sur la force musculaire des insectes* (1), j'avais, on se le rappelle, établi la loi suivante : dans un même groupe d'insectes, la force varie, d'une espèce à une autre, en sens inverse du poids; c'est-à-dire que, de deux insectes appartenant à un même groupe, le plus petit présente la plus grande force. Le mot force signifie ici le rapport entre le poids tiré, poussé ou enlevé par l'insecte, et le poids de l'insecte lui-même.

Mais mes expériences ne me donnaient de résultats toujours bien tranchés que dans le cas où les espèces comparées possédaient des poids moyens notablement différents; en effet, des essais tentés, pour la traction, sur la *Donacia nympheae* et le *Crioceris merdigera*, et, pour la traction et le vol, sur le *Bombus terrestris* et le *Bombus*

(1) *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 1865, 2me série, t. XX, page 752.

rupestris, avec des séries de six individus seulement, avaient montré tout au plus une tendance des rapports obtenus à confirmer la loi. Ces séries comprenaient trop peu d'individus; aussi disais-je (§ 5) qu'il paraissait fort probable que des espèces dont les poids sont voisins fourniraient toujours des rapports également voisins, et que dès lors on ne pourrait légitimement comparer ceux-ci entre eux que s'ils approchaient beaucoup de l'exactitude, et conséquemment s'ils étaient déduits de séries nombreuses. En terminant ma première note, j'avais manifesté l'intention de reprendre ces mêmes expériences, dont les résultats avaient été plus ou moins douteux, et d'opérer sur un nombre suffisant d'individus. J'ai effectué ces nouveaux essais, et je commencerai le travail actuel en exposant ce qu'ils m'ont donné. J'ai donc doublé, pour les espèces mentionnées, le nombre des individus, c'est-à-dire que chaque série en comprend actuellement douze. Or, telle est la généralité de la loi ci-dessus, que cette augmentation a suffi pour la mettre complétement en lumière à l'égard des espèces dont il s'agit. Les rapports individuels maxima, qui sont cependant si sujets à varier par les plus petites causes, n'offrent pas non plus d'exceptions.

Le tableau suivant renferme les nouveaux résultats obtenus; j'ai ajouté aux séries des deux *Bombus* une série de douze individus de l'abeille commune, pour compléter le groupe des apiaires et à cause du peu de différence entre le poids moyen de l'abeille et celui du *Bombus rupestris*. Je crois inutile de dire que les expériences ont été effectuées de la même manière que celles dont j'ai donné les résultats dans ma première note, et que la disposition du

tableau est restée exactement celle adoptée dans le travail précédent.

INSECTES.		NOMBRES d'individus.	Poids moyens des espèces.	Poids moyens maxima soulevés.	Rapports moyens.	Rapports individuels maxima.
			Traction.			
			grammes.	grammes.		
Eupodes.	Donacia nympheae . . .	12	0,048	1,822	37,9	57,2
	Crioceris merdigera . .	12	0,035	1,402	40,0	67,2
Apiaires.	Bombus terrestris. . . .	12	0,381	5,707	14,9	22,0
	Bombus rupestris. . . .	12	0,129	2,295	17,8	30,2
	Apis mellifica	12	0,090	2,117	23,5	31,2
			Vol.			
Apiaires.	Bombus terrestris. . . .	12	0,357	0,157	0,44	0,87
	Bombus rupestris. . . .	12	0,146	0,094	0,64	1,15
	Apis mellifica	12	0,086	0,075	0,87	1,31

La loi à laquelle j'étais arrivé paraît donc se vérifier toujours quand on opère sur un nombre suffisant d'individus, et l'on peut, je pense, la considérer comme tout à fait générale.

J'avais déduit des expériences dont les résultats sont consignés dans mon premier mémoire une autre loi non moins importante, savoir que : à part le cas du vol, les insectes ont, par rapport à leur poids, une force énorme

comparativement aux vertébrés. Ainsi que je l'avais signalé, ce fait reçoit une confirmation toute particulière de la part des Eupodes, représentés dans mes expériences par les donacies et les criocères. De plus, ces insectes, comme je l'avais également fait remarquer, surpassent de beaucoup en force la plupart des autres espèces soumises aux essais de traction.

On pourrait objecter que cette suprématie des Eupodes n'est qu'apparente, et tient à la conformation de leurs tarses, dont les trois premiers articles sont spongieux ou garnis de brosses, conformation dont ces insectes tirent un grand parti pour se fixer aux surfaces qui les portent. J'en ai vu effectivement soulever des poids considérables pour eux en marchant sur une plaque de verre poli. Mais cette faculté qui leur est nécessaire pour se tenir solidement aux tiges herbacées sur lesquelles ils vivent, ne me semble cependant devoir augmenter en rien leur facilité à soulever des poids dans la traction ; je pense que les autres insectes trouvent une adhérence tout aussi solide, à l'aide de leurs crochets, sur la surface rugueuse de mousseline que je leur fais parcourir.

Du reste, afin de dissiper tous les doutes à cet égard, j'ai soumis aux expériences de traction un coléoptère, la *Strangalia armata,* de la famille des longicornes, famille caractérisée, comme le groupe des Eupodes, par des tarses spongieux ou en brosses. J'ai inscrit dans le tableau ci-dessous les résultats que cet insecte m'a fournis, et, dans le but de pouvoir établir une comparaison entre ces résultats et ceux donnés par les coléoptères dont les membres ne sont garnis que de simples crochets, j'ai placé dans le *même* tableau les nombres de mes anciennes expé-

riences relatives aux trois espèces qui se rapprochent le plus de la strangalie par les poids moyens.

INSECTES.	NOMBRES d'individus.	Poids moyens des espèces.	Poids moyens maxima soulevés.	Rapports moyens.	Rapports individuels maxima.
		grammes.	grammes.		
Strangalia armata . . .	8	0,114	2,872	25,2	40,9
Cicindela hybrida . . .	6	0,111	1,055	9,5	12,1
Anomala frischii. . . .	6	0,155	3,721	24,5	66,4
Trichius fasciatus. . .	6	0,161	6,651	41,5	57,5

On voit, d'après ce tableau, que la structure des tarses de la strangalie ne lui a pas été d'un grand secours, puisque si cette espèce l'emporte sur la cicindèle, elle se borne à égaler en force l'*Anomala,* et donne un résultat de beaucoup inférieur à celui de la trichie à bandes, bien que ces deux derniers insectes qui appartiennent, à la vérité, à d'autres familles, aient des poids moyens un peu plus élevés. Il faut donc admettre, me semble-t-il, que les Eupodes ont une force musculaire supérieure à celle des autres insectes sur lesquels ont porté mes recherches; ce qui, du reste, peut résulter de deux causes concourantes, savoir, en premier lieu, leur petite taille et leur faible poids, et, en second lieu, leurs cuisses volumineuses, les postérieures surtout, qui doivent renfermer des muscles d'une grande puissance.

Saut.

§ 2. J'ai soumis jusqu'ici à mes mesures la force développée par les insectes dans la traction, la poussée et le

vol ; mais parmi ces animaux, il en est, tels que la plupart des orthoptères, qui manifestent encore leur force musculaire d'une façon toute spéciale, c'est-à-dire dans le saut. Déjà l'année dernière, j'aurais désiré soumettre le saut à mes essais, mais, ainsi que je l'ai dit dans ma première note, la saison était trop avancée et les orthoptères devenus trop rares quand j'ai voulu m'en occuper; je me suis efforcé de combler cette lacune dans le travail actuel.

J'ai expérimenté sur deux espèces d'acridiens de tailles différentes, et je me suis proposé de trouver, pour chacune de ces espèces, le poids moyen qu'elle peut enlever en sautant. A cet effet, j'ai procédé à peu près de la même manière que pour le vol ; mais comme, dans le cas actuel, il faut évidemment empêcher l'animal de tirer aucun secours du mouvement de ses ailes, j'ai toujours lié celles-ci ainsi que les élitres à l'aide d'un fil.

Le poids que l'acridien doit enlever de terre est une boulette de cire contenant des fragments de plomb, pour offrir un plus petit volume; cette boulette est suspendue au corps de l'animal par un fil que l'on noue autour du thorax, derrière la deuxième paire de pattes, de façon que l'action du poids passe autant que possible par le centre de gravité de l'insecte, sans gêner les mouvements de celui-ci. La masse de cire est choisie à dessein d'abord trop petite, et l'animal qu'on oblige à sauter l'emporte assez aisément avec lui ; on augmente ensuite graduellement cette masse, par l'addition de nouvelles portions de cire, jusqu'à ce que l'insecte ne puisse plus la soulever que d'un centimètre environ au-dessus du sol. On ne doit guère aller plus loin, puisque le poids maximum absolu serait celui que l'acridien ne pourrait soulever que d'une quantité infiniment petite, c'est-à-dire celui qui le cloue-

rait à sa place, et il serait difficile de savoir si l'on n'a pas dépassé ce point.

On pèse alors la masse que l'insecte ne pouvait plus enlever qu'à un centimètre de hauteur, et l'on pèse également l'animal, dont on a paralysé les mouvements par la vapeur d'éther. Les expériences ayant été répétées sur douze individus, j'ai calculé, comme dans les cas précédents de la traction, de la poussée et du vol, le rapport entre le poids moyen enlevé par chaque espèce et le poids moyen de cette espèce; de plus, pour avoir les rapports individuels maxima, j'ai cherché, pour chaque insecte isolé, le rapport entre le poids qu'il soulève et le poids de son corps. Voici le tableau des résultats :

INSECTES.	NOMBRES d'individus.	Poids moyens.	Poids moyens maxima enlevés.	Rapports moyens.	Rapports individuels maxima.
		grammes.	grammes.		
Œdipoda grossa. . . .	12	0,646	1,064	1,6	2,5
Œdipoda parallela . .	12	0,194	0,638	3,3	4,4

Ce tableau confirme encore une fois la loi suivant laquelle les insectes, de quelque manière qu'on les envisage, ont une force musculaire relative d'autant plus grande que leur poids et leur taille sont moindres. Seulement on remarquera que, d'après les rapports moyens comme d'après les rapports maxima individuels, la force développée dans le saut n'est pas aussi grande qu'on aurait pu être tenté de l'inférer à priori du volume des cuisses des œdipodes. Cependant les acridiens exécutent, chacun le sait, des sauts

considérables, eu égard à leur taille ; mais la manière dont leur force est mise en jeu explique cette particularité : chez l'acridien qui saute, les membres postérieurs, repliés d'abord sur eux-mêmes, se déploient brusquement, et l'animal ne quitte définitivement le sol que lorsqu'ils sont complétement étendus; la force développée dans ce mouvement, quoique faible en elle-même, agit pendant toute la durée de l'extension des pattes, et, se comportant ainsi comme force accélératrice, communique à l'animal une vitesse croissante, d'où il résulte que, lorsque celui-ci quitte enfin le sol, il est animé d'une vitesse très-grande.

La direction initiale du saut étant oblique fait décrire à l'animal une parabole; j'ai voulu mesurer, bien que dans un tout autre but, dont je parlerai au § 6, la hauteur de cette courbe, ainsi que la distance horizontale comprise entre ses deux pieds, c'est-à-dire entre le point d'où l'animal s'élance et celui où il retombe. L'acridien avait les ailes liées, mais était libre de tout poids additionnel. Je vais exposer en quelques mots mon mode d'expérimentation :

La distance entre les pieds de la parabole se mesure directement avec un mètre. Pour trouver la hauteur de la courbe, j'ai fait sauter les insectes devant un grand panneau vertical sur lequel sont tracées, à partir du sol, des lignes horizontales numérotées et distantes les unes des autres de cinq centimètres. En plaçant l'œil assez bas pour éviter les parallaxes, et en obligeant l'individu en expérience à sauter très-près du panneau, on voit fort bien se projeter sur celui-ci la courbe décrite par l'orthoptère. Si le point culminant atteint l'une des lignes, celle-ci donne immédiatement la hauteur cherchée; dans le cas con-

traire, on estime approximativement la distance du point culminant à l'une des lignes entre lesquelles il s'est trouvé, et l'on en conclut encore la hauteur. Je n'ai pu tracer mes repères à des distances moindres que cinq centimètres, la rapidité du mouvement à observer amenant alors des incertitudes et des erreurs continuelles.

J'ai soumis aux expériences douze individus de chaque espèce, sur chacun desquels j'ai fait trois essais, de sorte que chacune de mes moyennes est déduite de trente-six mesures. Voici ces résultats moyens :

INSECTES.	NOMBRES d'individus.	Nombres d'expériences.	Hauteur moyenne du saut.	Distances moyennes dans le sens horizontal.
			centimètres.	centimètres.
OEdipoda grossa . . .	12	36	32,5	65,7
OEdipoda parallela . .	12	36	31,7	58,9

Je ferai remarquer dès à présent que, bien que ces deux œdipodes aient des tailles et des poids très-différents, ils s'élèvent sensiblement à la même hauteur et retombent à des distances à peu près égales de leur point de départ; ce fait, qui peut paraître singulier au premier abord, est parfaitement explicable par une théorie dont je me réserve de dire un mot au § 6.

La sauterelle (*Locusta viridissima*) n'appartenant pas au groupe des acridiens, et en différant surtout par des membres postérieurs relativement beaucoup plus longs et plus grêles, ne pouvait guère être comparée aux œdipodes; j'ai fait cependant quelques expériences sur la

sauterelle, et voici les résultats que m'ont donnés deux individus :

Poids moyen des insectes	2gr,545
Poids moyen enlevé	2gr,750
Rapport moyen	1,07
Rapport maximum individuel	1,14

Les rapports obtenus, comparés à ceux des acridiens, sont comme toujours favorables à la loi suivant laquelle les insectes les plus petits ont la force la plus grande; mais la manière peu prononcée dont cette loi se vérifie dans le cas actuel, résulte sans doute de la différence d'organisation existant entre les acridiens et les locustiens; d'ailleurs le nombre des sauterelles essayées est beaucoup trop restreint.

§ 3. Pour compléter les notions que mes expériences fournissent sur la force musculaire des insectes, j'ajouterai ce qui suit :

La loi d'après laquelle la force des insectes croît en sens inverse des poids de ces animaux, n'est pas seulement vraie lorsqu'on compare des espèces appartenant à la même sous-division entomologique, mais paraît s'appliquer, dans une certaine mesure, et pour un même genre d'expériences à la classe entière des insectes. Je dis dans une certaine mesure, car si, pour la traction, par exemple, on range les vingt et une espèces que j'ai essayées par ordre croissant de poids moyens, on constate que la série des rapports moyens correspondants qui représentent les forces, tout en manifestant une tendance à décroître, depuis l'insecte le plus léger jusqu'au plus lourd, offre de nombreux écarts qu'on doit attribuer aux différences de structure des genres en présence. Mais le résultat est net-

tement accusé si l'on partage l'ensemble des espèces essayées en trois groupes, dont le premier contienne les insectes les plus légers, le deuxième ceux d'un poids un peu supérieur, et le troisième les plus pesants, et si l'on prend pour chacun de ces groupes la moyenne des rapports qui expriment les forces. C'est ce que j'ai fait : dans le premier groupe, les poids tous moindres qu'un décigramme, vont de $0^{gr},015$ à $0^{gr},090$; dans le second, les poids tous supérieurs à 1 décigramme, vont de $0^{gr},111$ à $0^{gr},540$; et dans le troisième, ils vont de $0^{gr},940$ à $1^{gr},905$.

En ce qui concerne le vol, les insectes sur lesquels j'ai expérimenté, ayant tous des poids très-faibles, je n'ai formé que deux groupes, celui des espèces pesant moins d'un décigramme, et celui des espèces dont les poids sont supérieurs à cette valeur.

Le tableau ci-dessous renferme les résultats de ces distributions :

		Nombres d'espèces.	Moyennes des RAPPORTS MOYENS.
TRACTION	Premier groupe	9	26,2
	Deuxième —	9	19,0
	Troisième —	5	9,2
VOL	Premier groupe	7	1,5
	Deuxième —	7	0,5

Et l'on voit que les forces moyennes sont encore en sens inverse des poids.

On peut donc admettre, me semble-t-il, que d'une manière générale, et sans avoir égard aux affinités zoologiques, la force des insectes est d'autant plus considérable que leur taille et leur poids sont plus faibles.

La poussée et le saut ne sont représentés respectivement dans mes expériences que par trois espèces; aussi les résultats obtenus dans ces deux cas ne pouvaient faire l'objet d'une recherche du même genre que la précédente; on doit croire cependant que si les espèces essayées avaient été plus nombreuses, la loi se serait manifestée d'une manière générale, comme pour la traction et pour le vol.

§ 4. Qu'il me soit permis maintenant de répondre à quelques objections soulevées par mon premier travail.

En parlant du vol des insectes, j'avais fait remarquer qu'il ne m'avait, dans aucun cas, donné de résultats aussi élevés que la traction et la poussée, probablement parce que les insectes n'ont jamais, comme certains oiseaux, à transporter d'un lieu à un autre des fardeaux un peu considérables. Or, les rédacteurs des *Annals and magazine of natural history* (1), en publiant une analyse de mon Mémoire, font suivre le passage que je viens de rappeler de la note suivante : « M. Plateau semble avoir oublié ici les sphex (*Sand-Wasps*), dont plusieurs transportent des chenilles d'une taille considérable relativement à la leur. »

Je ne nie aucunement que les sphex ne transportent en volant des chenilles de dimensions assez grandes; mais ce que je ne puis admettre, c'est que ces chenilles offrent des poids relativement élevés. A l'appui de ce que j'avance, je donne ici les résultats des expériences que j'ai faites sur le

---

(1) N° XCVIII, février 1866, page 140.

sphex des sables (*sphex sabulosa*). On trouvera dans le tableau suivant le poids maximum que cette espèce peut soulever par la seule force de ses ailes, et le rapport de ce poids au poids moyen de l'insecte.

	NOMBRE d'individus.	Poids moyen.	Poids moyen maximum enlevé.	Rapport moyen.	Rapport INDIVIDUEL maximum.
		grammes.	grammes.		
Sphex sabulosa. .	8	0,066	0,042	0,636	0,800

Ces nombres prouvent surabondamment que les sphex ne peuvent enlever par le vol seul un poids additionnel même égal au leur ; aussi je doute fort que pour des chenilles dépassant ce poids ou même l'égalant simplement, les sphex fassent autre chose que les traîner, ce qui est tout différent, puisque alors le fardeau est supporté en grande partie par le sol. Voici, du reste, ce que raconte à ce sujet Boitard, auquel on ne refusera pas la qualité de bon observateur (1) : « Un jour, dans un jardin, j'aperçus un de ces petits animaux, le sphex du sable, s'efforcer de transporter une chenille qu'il venait de tuer.... La chenille était au moins cinq ou six fois plus grosse que lui, d'où résultait qu'il ne pouvait guère en venir à bout.... Je le vis cinq ou six fois, désespérant du succès de son entreprise, abandonner sa tâche et s'envoler à quelque distance.... En-

(1) *Curiosités d'histoire naturelle*, page 92. Paris, 1862.

fin, il se plaça comme à cheval sur la chenille, ayant trois pattes jetées d'un côté, trois pattes jetées de l'autre; avec celles du milieu il embrassa le corps de l'animal, le souleva jusque contre sa poitrine, et réussit à marcher avec ses quatre autres pattes. Par ce moyen le corps de la chenille traînait fort peu sur terre, et il vint très-bien à bout de traverser une allée de six pieds de largeur et de la transporter dans une plate bande exposée au soleil contre un mur. » C'est donc presque de la traction qu'il s'agit ici, et nous savons combien dans ces conditions la force des insectes peut être considérable.

§ 5. La *Revue des Deux-Mondes* a publié, dans son numéro du 1er août de cette année, un article sur la force musculaire des insectes dû à la plume exercée de M. R. Radau. L'auteur, qui me fait l'honneur d'analyser mon travail avec une exactitude dont je le remercie, s'exprime ainsi, après avoir décrit la méthode dont je me sers dans les expériences de traction: « On admet, en effet, que l'effort suprême qu'on mesure est appliqué à un poids immobile; il n'en est pas ainsi en réalité; il y a, au contraire, toujours tiraillement : le poids cède et revient alternativement, et il faudrait connaître ces oscillations pour apprécier le travail qui a été accompli (1). »

Je ferai remarquer à ce sujet que mes recherches ne portent nullement sur la somme de travail effectué par les insectes dans les diverses expériences auxquelles je les soumets, mais uniquement sur l'effort final qu'ils exercent, et où ces animaux mettent en jeu le maximum de force musculaire dont ils sont susceptibles; les résultats obtenus sont ainsi du même genre que ceux donnés par

(1) Page 774.

l'homme ou le cheval avec le dynamomètre de Régnier. Si j'avais dirigé mes essais dans le sens que M. Radau paraît leur supposer, j'aurais dû, dans la traction, par exemple, tenir compte de tout le chemin parcouru par l'insecte, pendant que j'augmente successivement le poids qu'il soulève, et en déduire le travail total de l'insecte dans ce trajet.

M. Radau me fait une seconde objection plus fondée; voici ce qu'il dit à propos de mes expériences sur le vol : « Si M. Plateau arrive à cette conclusion que la force musculaire déployée par les insectes pour voler est bien moindre que celle qu'ils mettent en jeu pour la traction ou pour la poussée, il n'a peut-être pas assez présent à l'esprit que le vol exige un travail exceptionnel employé à prendre appui sur l'air (1). »

Il y a effectivement une grande différence entre l'appui que reçoivent les pattes d'un insecte de la part du sol, et la faible résistance offerte à ses ailes par l'air; l'observation que je viens de citer pourrait donc expliquer, au moins en partie, la raison pour laquelle les insectes ne peuvent jamais enlever en volant que des poids bien inférieurs à ceux déplacés dans la traction ou la poussée.

§ 6. Partant de l'hypothèse que la force est proportionnelle au volume des muscles, et trouvant que ces volumes diminuent dans une proportion plus rapide que les poids de ces animaux, j'étais arrivé, on s'en souvient, à cette conclusion qu'il faut attribuer la supériorité relative de la force des petites espèces à une plus grande part d'activité ou d'énergie musculaire.

Or, dans un résumé de mon Mémoire que la *Bibliothè-*

---

(1) Page 776.

que universelle de Genève (1) a bien voulu insérer, le rédacteur fait suivre la conclusion que je viens de rappeler de la phrase suivante : « Relativement à ce dernier point, nous ferons observer que le rapport entre la force motrice d'un animal et la masse de son corps est d'autant plus défavorable que l'animal est plus gros. C'est ce qui a été démontré en particulier avec soin par M. Bergmann. Le poids du corps augmentant suivant le cube, la force motrice, mesurée par la section des muscles, ne croît que suivant le carré. Cette considération rend compte, au moins en partie, de la plus grande énergie des petites espèces. E. C. »

Straus d'Urkheim, dans son admirable ouvrage *Sur l'anatomie comparée des animaux articulés* (2), avait, longtemps avant M. Bergman, émis et discuté la même idée, et cela d'une manière si claire, si élégante, que je ne puis m'empêcher de citer ici un extrait de cette partie de l'ouvrage : « En considérant les muscles comme des organes dont la force n'augmente qu'en raison de leur section, il en résulte que le poids du corps étant proportionnel à sa masse, et celle-ci croissant suivant le cube d'une de ses dimensions, il augmente très-promptement, tandis que la force des muscles, qui ne dépend que du nombre des fibres de ces derniers, qui est lui-même en rapport avec l'aire de la section de ces organes, ne croît qu'en raison du carré de l'une des dimensions du muscle, ou bien de l'animal entier ; de sorte que, dans quatre animaux parfaitement semblables, mais dont les dimensions

---

(1) *Archives des sciences physiques et naturelles*, tome XXV, n° 97 ; 20 janvier 1866, page 90.

(2) Paris, 1828, pages 188 et suiv.

seraient comme 1 : 2 : 3 : 4, les poids des corps seraient comme 1 : 8 : 27 : 64, tandis que les forces qui doivent les animer seraient comme 1 : 4 : 9 : 16. »

En s'appuyant sur ces données, et s'aidant de formules de dynamique, Straus démontre que deux animaux de formes semblables, mais de dimensions différentes, doivent sauter à la même hauteur au-dessus du point où se trouve leur centre de gravité à l'instant où leurs pattes postérieures quittent le sol. Il prend comme exemple le chat et le tigre, puis il ajoute : « Que l'on compare également des insectes de même genre, comme des *Locusta* (sauterelles) ou des *Acridium* (criquets), et l'on verra, comme dans l'exemple précédent, qu'ils arrivent tous à une égale distance. »

Straus ne dit pas qu'il ait fait ces dernières expériences, c'est pour quoi j'ai voulu les effectuer moi-même, afin de vérifier la conclusion ci-dessus, et c'est dans ce but qu'ont été prises les mesures rapportées au § 2. Mais ces mesures doivent subir une correction assez importante : d'après ce qui précède, l'espace parcouru ne doit être compté qu'à partir de la position du centre de gravité de l'animal, au moment où ses pattes postérieures quittent le sol; cette position est donnée par la longueur des pattes en question, qui sont insérées en des points très-voisins du centre de gravité, et par l'angle que fait la direction de l'élan avec l'horizontale. Ainsi la hauteur observée de la parabole décrite par chaque espèce doit être diminuée de la distance verticale du centre de gravité de cette espèce au sol, à l'instant où les pattes sont entièrement déployées, et il faut pareillement retrancher de la longueur comprise entre les pieds de la courbe, le double de la distance horizontale qui sépare la position occupée par le centre de gravité de

l'animal au repos de celle où il se trouve, quand ses pattes abandonnent leur point d'appui.

Or, les mesures données dans le tableau du § 2 permettent de déterminer par le calcul ou par une construction l'angle que fait avec l'horizontale la direction initiale moyenne du saut, et l'on trouve ainsi que cet angle est d'environ 63°. D'autre part, les longueurs des pattes postérieures de l'*œdipoda grossa* et de l'*œdipoda parallela* sont respectivement d'environ 40^{mm} et 25^{mm}; de là on déduit sans peine que, pour le premier de ces deux insectes, les quantités à retrancher de la hauteur verticale et de la distance horizontale sont sensiblement les mêmes et égales à 36^{mm}, et que, pour le second, la quantité commune à retrancher est de 22^{mm}. Les résultats ainsi corrigés sont :

	Hauteur moyenne DU SAUT.	Distance moyenne dans le SENS HORIZONTAL.
	centimètres.	centimètres.
OEdipoda grossa.	28,9	60,1
OEdipoda parallela	29,5	56,7

Par suite de ces corrections, on le voit, les valeurs relatives aux deux espèces sont devenues plus voisines encore que dans le tableau du § 2. Si la distance comprise entre les pieds de la parabole est un peu plus considérable pour la plus grande des deux espèces que pour la plus petite, on peut l'attribuer à de légères différences de structure, mais surtout à la résistance de l'air, car on sait que

de deux corps de formes semblables, de même matière et de volumes inégaux, partant avec la même vitesse, c'est le plus petit dont le mouvement est le plus entravé par la résistance de l'air.

Ces résultats paraissent donc appuyer fortement le principe de Straus d'Urkheim, savoir que la force des muscles est proportionnelle à leur section, et non à leur volume, comme je l'avais admis. Toutefois, M. Bergman (1), après avoir de son côté énoncé le principe en question, ajoute : « La force des muscles et des parties dures n'est pas complétement liée par la loi que nous venons d'émettre, de sorte que les rapports des forces de deux muscles ne sont pas toujours ceux de leurs sections. »

Cette même loi résout d'une manière simple un problème des plus compliqués. J'ai fait observer, en effet, dans ma note précédente, que les obstacles à surmonter par les animaux sont d'autant plus considérables relativement que les espèces qui les rencontrent sont de moindre taille; pour parer à ce grave inconvénient qui eût fait s'éteindre rapidement les petits animaux, la nature devait attribuer à ces derniers une force musculaire plus grande par rapport à leur taille et à leur poids qu'aux animaux plus pesants; mais comment a-t-elle atteint ce but? Simplement en donnant au règne animal entier des muscles formés, ainsi qu'on le sait, de fibres contractiles parallèles, cette structure amenant la solution du problème posé, tout en permettant la réalisation de tous les mouvements nécessaires à la vie, et sans sortir d'un plan uniforme.

---

(1) *Anatomisch-physiologische Uebersicht des Thierreichs.* Stuttgart, 1855, p. 298.

Je ne suis pas le seul à prétendre que si les insectes l'emportent pour la force sur les vertébrés, et si, parmi les insectes eux-mêmes, les plus petits l'emportent sur les plus grands, c'est afin qu'ils aient tous le moyen de surmonter les résistances qui s'opposent à leur marche, à leur vol, à leur poussée, etc.; dans le second des curieux articles publiés par M. De Lucy en 1865 et 1866, sous le titre : *Du vol chez les oiseaux, les chéiroptères et les insectes* (1), je trouve les passages suivants : « De tous les animaux, les insectes sont relativement les plus forts. Un cerf-volant (*Lucane*) maintient entre ses mandibules, en élevant et abaissant alternativement sa tête et son corselet, une règle d'acier de 30 centimètres de long et pesant 400 grammes, le lucane ne pèse que 2 grammes. . . . . Les animaux les plus légers étant toujours les plus petits, si la nature leur eût donné, en proportion de leur taille, une force simplement proportionnée à celle des animaux plus grands, on conçoit facilement ce qui en serait advenu : une souris, par exemple, exactement conformée comme un cheval, ou tout autre mammifère de cette dimension, aurait simplement reproduit en petit les allures de son grand modèle; elle eût fait deux pas environ par seconde; mais ses pas, proportionnés à la longueur de ses jambes, ne lui eussent permis de parcourir que deux ou trois centimètres pendant ce temps, d'où résulte que tous les petits animaux, aussi bien les insectes et les oiseaux que tous les autres êtres de la création, eussent été de véritables tortues abandonnées à leurs ennemis. La nature a donc dû établir une compensation,

(1) *Presse scientifique et industrielle des deux mondes*, 16 novembre 1865, pages 583 et suivantes.

suppléer à la petitesse des organes par la rapidité du mouvement, et par conséquent fournir à l'animal la force nécessaire pour produire cette rapidité. »

On le voit, M. De Lucy en se basant sur la rapidité relative des mouvements, et moi en considérant les difficultés plus ou moins grandes qu'ont les insectes à vaincre les obstacles qui gênent ces mêmes mouvements, nous sommes arrivés à une conclusion identique, et cela à peu près à la même époque, puisque ma note fut présentée à l'Académie dans la séance d'octobre 1865, et que l'article de M. Lucy a paru en novembre de la même année.

§ 7. D'après le journal *Le Cosmos* du 28 décembre 1865 (1), un membre de l'Institut, M. Piobert, aurait fait les objections suivantes : « M. Plateau néglige un élément très-important de l'équation de la force produite, la différence de hauteur du centre de gravité par rapport au plan de tirage. Puis encore M. Plateau oublie que les insectes avec leurs griffes, leurs pinces et la rigidité même de leur corps, peuvent produire un effort bien plus considérable que les vertébrés en général, et que le cheval en particulier, qui n'a que quatre pieds, qui sont des sabots ferrés par-dessus le marché (2). »

J'espère montrer, en examinant ces objections les unes après les autres, qu'elles sont loin d'avoir l'importance qu'on serait tenté de leur attribuer au premier abord.

1° *La différence de hauteur du centre de gravité par rapport au plan de tirage.* Sans doute, par *plan de tirage* il faut entendre ici le sol; mais j'avoue que je ne comprends pas bien l'objection présentée de cette manière :

---

(1) Page 727.

(2) Ces objections n'ont pas été reproduites dans les comptes rendus.

imaginons, en effet, que les jambes du cheval soient beaucoup plus courtes, tout en conservant la même force musculaire; le centre de gravité sera beaucoup plus près du sol, et cependant on ne voit nullement en quoi l'intensité de la traction, dans un premier effort, se trouvera modifiée. Peut-être le journal n'a-t-il pas saisi nettement l'idée de M. Piobert, et cette idée est-elle celle-ci : lorsque le cheval exerce son premier effort de traction, ses jambes sont dirigées obliquement d'avant en arrière, et, pour avoir la valeur de la traction, il faut décomposer, dans un plan vertical, la force développée par chaque jambe en deux autres, l'une dirigée verticalement de bas en haut et qui sert à équilibrer le poids de l'animal, l'autre dirigée parallèlement à la ligne de traction et qui constitue la force utile. De là et de ce que l'angle que fait chaque jambe avec l'horizontale est considérable, il résulte que la composante horizontale ci-dessus est notablement inférieure à la force réelle mise en jeu. Chez l'insecte, tout l'ensemble, et par conséquent le centre de gravité, est très-rapproché du sol, de sorte que toutes les pattes sont sensiblement horizontales; si donc on suppose ces pattes dirigées toutes parallèlement à la ligne de traction il n'y a aucune décomposition de force à effectuer, et chaque patte agit avec sa force réelle.

Mais chez les insectes, comme je m'en suis assuré, ce parallélisme des pattes avec la ligne de traction n'a pas lieu; dans l'effort maximum de traction, les deux pattes antérieures vont en s'écartant l'une de l'autre, et il en est de même des deux pattes postérieures; chacune de ces quatre pattes fait donc aussi un angle avec la ligne de traction; seulement cet angle, au lieu d'être dans un plan vertical, est dans un plan horizontal, et il faut encore,

pour avoir la force utile, décomposer la force réelle de chacune des pattes en deux autres, la première perpendiculaire à la ligne de traction, et qui est neutralisée par la composante homologue provenant de l'autre patte de la même paire, la seconde parallèle à la ligne de traction, et qui constitue la force utile cherchée; cette dernière n'est donc, comme pour le cheval, qu'une fraction de la force réelle. Je n'ai parlé que des pattes antérieures et postérieures; quant aux intermédiaires, elles sont toujours dirigées à peu près perpendiculairement à la ligne de traction et conséquemment ne donnent, parallèlement à cette ligne, que des composantes négligeables.

A la vérité, la perte de force est un peu plus grande pour le cheval que pour les insectes; en effet, d'après mes observations, dans les premiers efforts de traction chacune des jambes du cheval fait avec l'horizontale un angle d'environ 60°, d'où l'on conclut en construisant le parallélogramme des forces, que la composante utile n'est que la moitié de la force réelle. Chez les insectes, d'après mes observations encore, l'angle compris entre la direction des pattes et la ligne de traction varie avec les espèces et avec la paire de pattes que l'on considère : pour les pattes antérieures, il varie, avec les espèces, de 31° à 58°, et, pour les pattes postérieures de 16° à 50° (1). On

(1) Le procédé que j'emploie pour mesurer ces angles est le suivant : j'ai fait tirer un certain nombre d'individus de l'espèce en expérience, et au moment où chacun d'eux exécutait l'effort maximum, je dessinais rapidement, sur une feuille de papier, la position de ses membres par rapport à une ligne droite représentant la force de traction. Je mesurais ensuite directement les angles ainsi tracés, puis je prenais pour chaque espèce de pattes la moyenne entre tous les dessins.

voit donc que cet angle, bien qu'inférieur à celui qui appartient au cheval, est en général considérable aussi, et que par conséquent il en est de même de la perte de force. Il suit de là que si les insectes ont à cet égard un certain avantage sur les mammifères, cet avantage est beaucoup trop faible pour infirmer en rien ma conclusion, savoir que, à part le cas du vol, les insectes ont, par rapport à leur poids, une force énorme comparativement aux vertébrés.

2° *Les insectes ont des griffes avec lesquelles ils peuvent s'accrocher, tandis que le cheval n'a que des sabots ferrés.* Les artropodes tirent-ils un si grand avantage des appendices crochus qui terminent leurs tarses? Je suis loin de le penser : dans mon appareil, les insectes marchent sur de la mousseline collée sur une planchette. Or, pour m'assurer si une partie de leur supériorité ne tenait pas à la rugosité de cette surface, j'ai substitué à celle-ci une lame de carton recouverte de tours transversaux de ficelle, de manière qu'il y eût entre chaque tour une distance de quelques millimètres. Cette ficelle jouait le rôle des lattes de bois clouées au pont d'un navire autour du cabestan, et sur lesquelles s'appuient les pieds des matelots. Malgré cette modification, qui devait cependant offrir à l'animal en expérience toutes les facilités pour s'accrocher, les poids soulevés étaient sensiblement égaux à ceux des expériences ordinaires, quelquefois même moindres. De plus, comme je l'ai montré (§ 1), certains insectes, comme les longicornes, qui, en sus de leurs crochets, ont les derniers articles des tarses garnis de brosses raides, ne donnent pas de résultats supérieurs à ceux fournis par les autres espèces de même poids et n'ayant que de simples griffes. Outre les essais que je viens de rappeler, effectués sur la

Strangalia armata, j'ai fait tirer un individu d'une espèce de longicorne beaucoup plus grande, le *Saperda carcharias;* son poids était de $1^{gr},2$, le poids maximum soulevé $10^{gr},2$; le rapport entre le poids soulevé et celui de l'insecte était donc 8,5. Les espèces essayées (voir ma première note), dont les poids se rapprochent le plus de celui du *Saperda* ci-dessus, sont le hanneton et l'*Oryctes nasicornis;* or, le rapport 8,5 relatif au *Saperda* est intermédiaire entre les rapports 14,3 et 4,7 donnés respectivement par le hanneton et par l'*Oryctes*, résultat qui vient confirmer celui que j'ai déjà exposé à l'égard de la strangalie.

Enfin, pour en revenir au cheval, il me semble que sur un sol dur et rugueux, les sabots de cet animal, surtout s'ils sont ferrés, doivent trouver un point d'appui aussi solide que celui qu'offre aux insectes la surface rugueuse de mousseline de mon appareil.

3° *Le cheval n'a que quatre pieds et les insectes ont six pattes.* Je rappellerai à ce sujet ce que j'ai déjà dit plus haut, c'est que les membres intermédiaires des articulés hexapodes faisant dans la traction un angle d'environ 90° en moyenne avec la ligne de traction, ne présentent parallèlement à cette ligne que des composantes négligeables, d'où il résulte que le nombre des membres produisant un effet réel sur le poids à tirer se réduit à quatre, comme chez le cheval et les mammifères.

4° *La rigidité du corps des insectes.* Cette rigidité est celle de l'enveloppe extérieure des insectes, enveloppe qui constitue leur squelette. Mais si l'insecte a ainsi un squelette extérieur, le cheval en a un interne. L'un et l'autre de ces squelettes présentent de nombreuses articulations, et quant au nombre de ces dernières, si nous ne considé-

rons que les membres, ceux du cheval n'offrent que cinq articles, tandis que les pattes des insectes en offrent en général au moins huit. Il est possible que dans la pensée de M. Piobert entre le grand nombre de pièces dont la colonne vertébrale du cheval est formée; les insectes, à la vérité, n'ont comme équivalent que trois anneaux thoraciques, mais il faut considérer l'énorme masse des muscles dorsaux du cheval, qui manquent à peu près aux insectes, et qui en s'opposant à une flexion possible de la colonne vertébrale du cheval lorsqu'elle est arquée, ne doivent pas être sans influence sur la force de traction.